

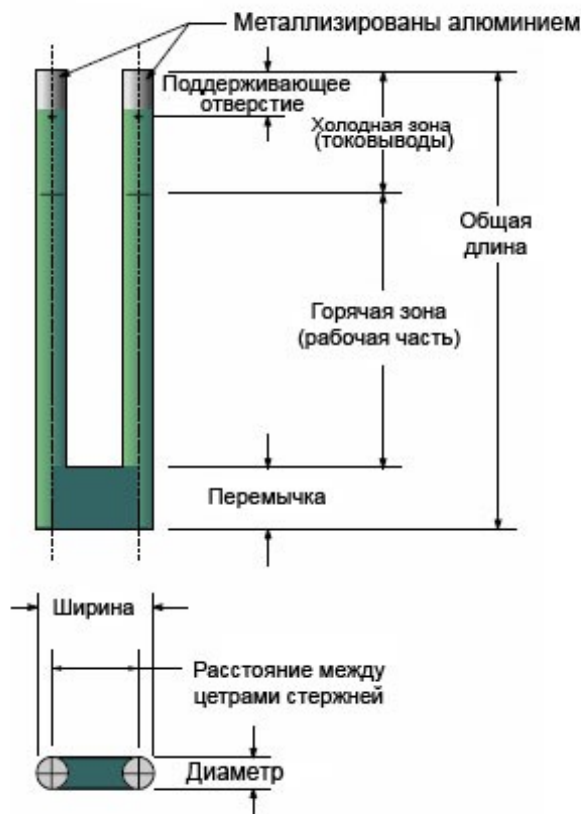
Карбидокремниевые нагревательные элементы Starbar

Типа U, W and Y

Общее описание

Сделанные из высокоплотного рекристаллизованного карбида кремния, эти элементы имеют тот же материал токовыводов и активной части, как и RR элементы и форму, позволяющую производить электрическое подключение данных элементов с одной стороны. Отношение сопротивлений токовыводов к сопротивлению рабочей (горячей) зоны составляет 1:15, что позволяет токовыводам во время работы нагревателей оставаться холодными. Концы токовыводов металлизированы алюминием для обеспечения низкого сопротивления поверхностей контакта. Электрические контакты обычно сделаны с использованием плоской алюминиевой плетенки, прижатой по окружности упругим зажимом из нержавеющей стали. Элемент типа U описывается общей длиной, длиной активной части длиной токовыводов и диаметром. Пример: U 597 x 305 x 241 x 25 мм является U-образный элемент общей длиной 597 мм, длиной активной части 305мм, длиной токовыводов 241мм и диаметром 25мм.

Элемент Starbar U-типа



Качество исполнения

Благодаря высокой плотности агреватели Starbar имеют высокое качество – приблизительно 2,4 г/см³. При этом улучшаются характеристики по устойчивости к старению и дополнительной прочности.

Взаимозаменяемость

Starbar нагревательные элементы взаимозаменяемы с карбидокремниевыми нагревательными элементами, производимыми в США, а также с нагревательными элементами высокого сопротивления, производимыми в Азии и Европе. Это важно для обеспечения номинального электрического сопротивления при заказе нагревателей Starbar. Пожалуйста, свяжитесь с нами при заказе на замену нагревателей.

Размеры

Элементы Starbar могут производиться любой длины до 2550 мм. Пожалуйста, обратитесь к таблице D для определения размеров диаметров и рекомендуемой максимальной длины.

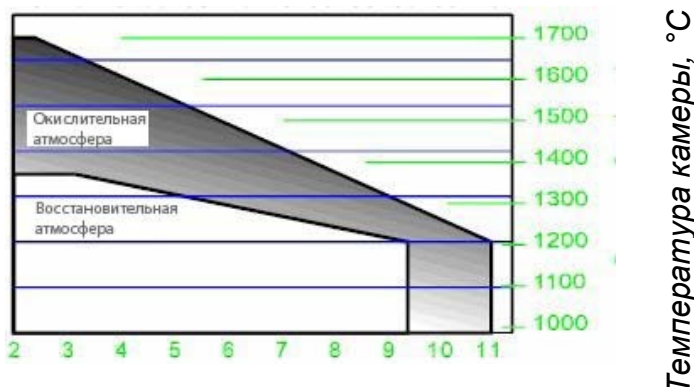
Таблица D				
Размеры элементов Starbar типов U, W и Y				
*Диаметр стержня Starbar	**ОС Минимум (рекомендуемый) для Y, W и Y	**ОС Максимум U и W	Высота перемычки	***Максимальная рекомендуемая общая длина
мм	мм	мм	мм	мм
13	25	76	25	711
16	32	76	32	890
19	38	102	38	1020
25	51	102	51	1270
32	64	102	64	1525
38	76	127	76	1525
44	89	127	89	1525
54	102	127	102	1525
Диаметр установочного отверстия для всех размеров 5,3мм				
*Максимальный диаметр стержня для Y 32мм				
**ОС – Расстояние между центрами соседних стержней				
*** Максимальная рекомендуемая общая длина может быть увеличена.				

Рабочая температура

Все U- и W-образные элементы Starbar могут работать при температуре до 1425°C. Материал активной части рассчитан на температуру печи до 1700°C. Ограничения по температуре связаны с токовыводами элемента или их концами. Если требуемая температура больше 1425°C, зону токовыводов следует предохранить от температуры в самой камере.

Для не воздушных сред следует уменьшить максимальную рабочую температуру. Только для сред аргона и гелия можно не снижать максимальную рабочую температуру. Восстанавливающие среды – водорода или аммиака, особенно с низкой точкой росы, удаляют защитную пленку оксида кремния, которая самопроизвольно образуется на карбиде кремния. В этих средах температура рабочей камеры не превышает 1370°C. Пожалуйста, обратитесь к рисунку 1.

Рекомендуемая нагрузка, Вт (Рисунок 1)



Удельная поверхностная мощность, Вт/см²

Применение в атмосфере азота ограничено 1370°C и максимальной поверхностной мощностью от 3,1 до 4,6 Вт/см². Слишком высокая температура поверхности вызовет реакцию карбида и азота. Термоизоляционный слой на нагревателе Starbar приведет к очень высоким поверхностным температурам, которые повреждают Starbar нагреватель.

Электрические характеристики

Карбидокремниевые нагреватели Starbar в виде прутка являются нагревателями резистивного типа, которые преобразуют электрическую энергию в тепловую – по закону Джоуля $W=I^2 \times R$ (W -мощность в Вт, I – ток в амперах, R - сопротивление, Ом).

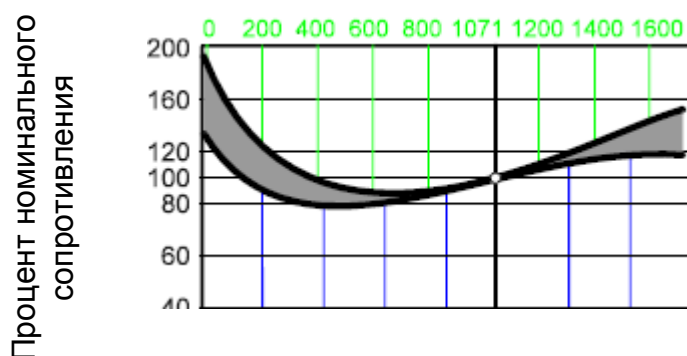
Материалом рабочей зоны Starbar является связанный карбид кремния. Решетчатая структура или волокна, которые удерживают зерна карбида кремния вместе, формируются в процессе рекристаллизации карбида кремния при очень высоких температурах. Элементы Starbar из зеленого карбида кремния, который классифицируется как полупроводниковый материал с повышенным содержанием электронов.

Электрическое сопротивление элементов Starbar трудно измерить из-за незначительных включений самонагреву и контактному сопротивлению. Также зеленый карбид кремния имеет отрицательные характеристики по параметрам температура - сопротивление в диапазоне от комнатной температуры до приблизительно 650° С. На этой точке происходит переход на положительные характеристики, которые остаются положительными на всем диапазоне рабочей

температуры. Типичная кривая, характеризующая зависимость сопротивления от температуры показана на рисунке 2.

Зависимость сопротивления от температуры (рис 2)

Температура поверхности элемента Starbar, °C



Номинальное сопротивление элемента Starbar измеряется при температуре 1071 °C. Значения номинального сопротивления Starbar в Ом на единицу длины показано в таблице А.

Таблица А		
Диаметр активной части	Сопротивление рабочей зоны одного стержня	Сопротивление токовывода одного стержня
мм	Ом/мм	Ом/мм
13	0,00773	0,000387
16	0,00497	0,000248
19	0,00341	0,000170
25	0,00197	0,000098
32	0,00134	0,000067
38	0,00092	0,000046
44	0,00065	0,000032
54	0,0059	0,000030
Максимальный диаметр для типа Y 32		
Все значения сопротивлений имеют +/- 20%		

Чтобы определить сопротивление элемента Starbar типа U выберите диаметр, определите значение сопротивлений Ом/мм и затем:

- 1 Умножьте сопротивление рабочей зоны одного стержня Ом/мм x длину рабочей зоны одного стержня x 2 (количество стержней)
- 2 Умножьте сопротивление токовывода одного стержня Ом/мм x длину токовывода x 2 (количество стержней)
- 3 Добавьте суммарное сопротивление активной части к суммарному сопротивлению токовыводов.

Тип W Starbar обычно имеет трехфазное соединение. Вследствие этого требуется значение сопротивления для каждого стержня. Чтобы определить сопротивление каждого стержня определите диаметр и определите значение сопротивлений Ом/мм и затем:

- 1 Умножьте сопротивление рабочей зоны одного стержня Ом/мм x длину рабочей зоны одного стержня
- 2 Умножьте сопротивление токовывода одного стержня Ом/мм x длину токовывода
- 3 Добавьте суммарное сопротивление активной части к суммарному сопротивлению токовыводов.

Электроподключение

Элементы Starbar не определяются размерами к существующей мощности как металлические нагревательные элементы. Количество энергии, которую Starbar способен преобразовать из электрической в тепловую, зависит от атмосферы и температуры печи, в которой установлен элемент. Для определения суммарной мощности Starbar элемента используются значения удельной поверхностной мощности, то есть мощность в Вт на единицу излучающей поверхности. На рисунке показана рекомендуемая нагрузка в Вт на см^2 в зависимости от температуры печи.

Для определения рекомендуемой суммарной мощности сначала обратитесь к рисунку 1, зная температуру печи и атмосферы, в которой будет работать элемент. Следуйте вдоль температурной линии до пересечения с жирной черной линией (выбирая эту линию в зависимости от атмосферы в которой Starbar будет работать). Определите значения мощности в Вт на см^2 , которая может быть получена на элементе. Для нахождения суммарной мощности Starbar элемента, получаемой при этих условиях, умножьте это значение на площадь излучаемой поверхности. Площадь излучаемой поверхности умножением размера диаметра рабочей зоны на длину и на число π (3,14) и на количество стержней (2 для U и 3 для W и Y).

Пример: При температуре 1425°C может иметь нагрузку 7 Вт на см^2 . Следовательно, элемент Starbar с площадью излучающей поверхности 100 см^2 могут обеспечить 700Вт, в то время как элемент с площадью излучающей поверхности 2000 см^2 могут обеспечить 14000 Вт.

Пример расчета площади излучающей поверхности: U $597 \times 305 \times 241$ мм является элементом с длиной активной части 305 мм и диаметром 25 мм. Излучающая поверхность каждого стержня составляет $305 \times 25 \times 3,14 = 23,94 \text{ мм}^2$ или 239 см^2 . Тип U состоит из двух стержней, суммарная площадь поверхности которых составит 479 см^2 . Тип W и Y состоят из трех стержней, суммарная площадь поверхностей которых составит 718 см^2 .

Электрический расчет

В предыдущем параграфе были даны разъяснения как рассчитать рекомендуемую мощность в Вт для элемента Starbar. В этом параграфе будет объяснено, как произвести электрический расчет, чтобы обеспечить рекомендуемую нагрузку. Зная получаемую мощность в Вт и сопротивление Starbar элемента мы имеем следующее равенство $E = \sqrt{W \times R}$, где E – номинальное напряжение, W – нагрузка в Вт и R – сопротивление Starbar элемента в Ом). Значение сопротивления Starbar элемента может быть определено при помощи Таблицы А

Нахождение E определяет требуемое напряжение, чтобы обеспечить желаемую выходную мощность. Для этого требуется определение номинального напряжения.

Пример: элемент Starbar U 597 x 305 x 241x 25 имеет сопротивление 1,21 Ом с площадью излучающей поверхности 479 см² излучающей поверхности. С нагрузкой 6,3 Вт/см² этот элемент Starbar обеспечит 3000 Вт.

Чтобы найти требуемое номинальное напряжение используем формулы:

$$E_n = \sqrt{W \times R_n}$$
$$E_n = \sqrt{3000 \times 1,21}$$
$$E_n = 60 \text{ вольт}$$

Элементы Starbar могут соединяться параллельно, последовательно или комбинацией таких соединений.

При параллельном соединении напряжение на всех элементах одинаково. По формуле $W = E^2/R$ (W - мощность, E - напряжение, R -сопротивление) видно, что с увеличением сопротивления мощность увеличивается. Параллельно подключенные элементы Starbar с самым низким сопротивлением будут выделять больше тепловой энергии и, следовательно, работать при большей температуре. Эта повышенная температура элементов вызовет постепенное увеличение сопротивления до тех пор, пока все элементы не будут иметь одинаковое сопротивление. В этот момент все нагреватели Starbar будут иметь приблизительно одинаковые значения сопротивлений и поверхностных температур и, следовательно, оставаться в равновесии.

Чтобы рассчитать суммарное сопротивление группы элементов, может быть использована следующая формула $R_n = R \times S/P$ (R_n -суммарное сопротивление, R -сопротивление элемента, S - количество соединенных элементов Starbar, P - количество параллельно соединенных элементов).

Пример: восемь элементов Starbar RR 43 x 24 x 1 ($R=1,21$ Ом) соединенных в серии по 2 элемента ($S=2$) и 4 параллельных группы ($P=4$)

$$R_n = R \times S/P$$
$$R_n = 1,21 \times 2 / 4$$
$$R_n = 0,6 \text{ Ом}$$

Для расчета номинального требуемого напряжения для группы нагревателей Starbar используется комбинация двух предыдущих формул: $E_n = \sqrt{W \times R_n}$, где E_n - суммарное номинальное напряжение, R_n – суммарное сопротивление, W - суммарная мощность.

Пример: восемь элементов Starbar RR 43 x 24 x 1 ($R=1,21$ Ом) соединенных в серии по 2 элемента ($S=2$) и 4 параллельных группы ($P=4$)

$$E_n = \sqrt{W \times R_n}$$
$$E_n = \sqrt{24000 \times 0,6}$$
$$E_n = 120 \text{ вольт}$$

Сопротивление элементов увеличивается постепенно по мере срока их службы. Поэтому требуется техническое обслуживание для поддержания потребляемой мощности и сохранения требуемой температуры печи.

Исторически дорогое оборудование для изменения напряжения такое как многоступенчатые трансформаторы и магнитные усилители рекомендовались для всех, но не низкотемпературных режимов.

Элементы Starbar могут использоваться с прямым подключением (при стабильном напряжении) при температуре 1315 °С. Для того, чтобы скомпенсировать уменьшение потребляемой мощности, возникающее вследствие старения элементов или увеличить сопротивление, печи первоначально загружают на нагрузку от 20 до 50% больше. Такой способ позволяет избежать дорогостоящего оборудования для изменения напряжения, и зарекомендовал себя хорошо при многих применениях. Он не рекомендуется в случаях, когда требуется точное соблюдение температурных режимов.

Допустим, печь требует приблизительно 24 000 Вт после всех тепловых потерь и учета загрузки камеры. Увеличение этих 24 000 на 25-50% дает требуемую мощность от 30 000 до 36 000 Вт.

Но, взглянув с другой стороны на предыдущий пример можно увидеть, что 10 элементов Starbar RR 43 x 24 x 1 соединенные по два элемента, дадут 5 параллельных групп на 120 вольт и обеспечат 30 000 Вт. Если будут использоваться двенадцать элементов такого же размера, производимая мощность составит 36000 Вт. Двенадцать элементов соединенных по четыре элемента на 240 вольт уравновесят суммарное напряжение трех групп(?) 240 вольт.

Температура печей контролируется позиционным(включено-выключено) регулятором. Новые элементы находятся во включенном состоянии только в продолжение 24/30 или 24/36 от часа. По мере увеличения сопротивления элементов, они будут находиться включенными большую долю времени. Когда

они достигнут увеличения сопротивления при котором они обеспечивают нагрузку 24 000 Вт, элементы будут находится включенными 100% времени. SCR (silicon controlled rectifier) преобразователь или тиристор может быть использован.

Для случаев, когда требуется точное соблюдение температурного режима и/или температура превышает 1315°C необходимо устройство для увеличения напряжения. Существует несколько способов для обеспечения источника изменяемого напряжения:

- (1) Многоступенчатый трансформатор наиболее распространен из-за своей низкой стоимости. Вторичная обмотка трансформатора обеспечивается ступени, количество которых варьируется от 10 до 36. Будьте внимательны при выборе ступеней напряжения, правильный подбор к сопротивлению элемента позволит увеличить срок службы.
- (2) Магнитные усилители и регулятор индукции используются для безступенчатого (безшагового) управления напряжением. Они также иногда используются с multiple tap преобразователем.
- (3) Управление конденсатором используется редко. Этот способ позволяет исправить фактор мощности, и желателен для использования в некоторых случаях.
- (4) Распространен полупроводниковый регулятор

Для компенсации уменьшения излучаемой мощности из-за увеличения сопротивления элементов Starbar, требуется диапазон напряжений, который будет компенсировать 100% увеличение сопротивлений элементов Starbar. Следующая формула может быть использована для расчетов $E_{max} = \sqrt{(Wt \times Rn)} \times 1,5$ (E_{max} -рекомендуемое максимальное напряжение, требуемое для компенсации увеличения сопротивлений, возникающих вследствие старения элементов и допусков по значениям сопротивлений, Wt -мощность преобразователя в Вт, Rn – суммарное сопротивление элементов Starbar, 1,5 – минимальный допуск на удвоение значений сопротивлений элементов Starbar и на допуск 20% по значению сопротивлений. Более высокое значение незначительно скажется на сроке службы.

Пример: Преобразователь, рассчитанный на 24 киловольт-ампер, имеет суммарное номинальное полное напряжение 120 вольт. ($Rn=0,6$, $Wt=24000$)

$$E_n = \sqrt{(W \times Rn)} \times 1,5$$
$$E_n = \sqrt{(24000 \times 0,6)} \times 1,5$$
$$E_n = 180 \text{ вольт}$$

Полное номинальное напряжение и максимальное напряжение просчитаны. Когда выбирается преобразователь, полное номинальное напряжение обычно уменьшается на 5-10%, чтобы учесть 20% допуск по значению сопротивлений элементов Starbar. Также, пониженная подача напряжения обеспечивают холостой ход и медленный прогрев.

Для расчета минимального напряжения берется 70% от номинального напряжения. Для циклических применений берется 30% от полного номинального напряжения.

Автоматические преобразователи могут использоваться, если первичное напряжение составляет 230 вольт или менее. Не следует использовать трехфазное подключение. Принятые на практике ограничения вторичного напряжения для всех трансформаторов составляет 300 вольт. Кроме того, существует проблема утечки напряжения на футеровку. Если рассчитывать размер пошагового изменения, значения, составляющие 5% от номинального напряжения, обычно используются. Использование SCR (silicon controlled rectifier) или тиристоров требует первоначально меньшего количества taps. Например, если используется 6 taps (ступеней повышения напряжений), то напряжение для холодной печи может составлять 0,7 от номинального напряжения, следующее значение напряжений может быть на 14% выше. Для 8 taps (ступеней повышения напряжений) первоначальный уровень напряжения возможен 0,7 от номинального напряжения, каждое последующее на 9,1% больше.

Простота замены

Элементы Starbar могут быть замены при рабочей температуре без опасности термоудара. Так как эти элементы Starbar состоят из нескольких стержней, они часто устанавливаются через огнеупорный разъем как показано на рисунке 3. В этом случае разъем и элемент в сборе могут быть вынуты из печи.

Рисунок 3

Приспособления для установки



Срок службы

По мере использования сопротивление элементов Starbar возрастает. Это увеличение называется старением элементов. Старение определяется следующими параметрами:

- (1) Рабочая температура
- (2) Электрическая нагрузка (обычно выражается в Вт/см² излучающей поверхности элемента)
- (3) Рабочей средой
- (4) Режим работы (прерывистый или постоянный)
- (5) Технологическими и ремонтными характеристиками

Монтаж

Нет строгих ограничений по монтажу элементов, хотя вертикальное и горизонтальное размещение более распространено. Наиболее распространено вертикальное размещение, при котором нагреватель подвешен за токовыводы. При горизонтальном размещении элементов Starbar следует обеспечить горизонтальную поддержку перемычке (мостику). Сами стержни следует располагать в такой же горизонтальной плоскости, not on edge. Если стержни будут установлены в вертикальной плоскости, то будет сложно обеспечить должную поддержку для каждого стержня. Тип Y Starbar следует устанавливать по той же самой причине. Необходимо строго следить за тем, что при установке в элементах не возникало напряжение. Следует обеспечить пространство, чтобы элементы печи и сами элементы могли бы сжиматься и расширяться беспрепятственно.

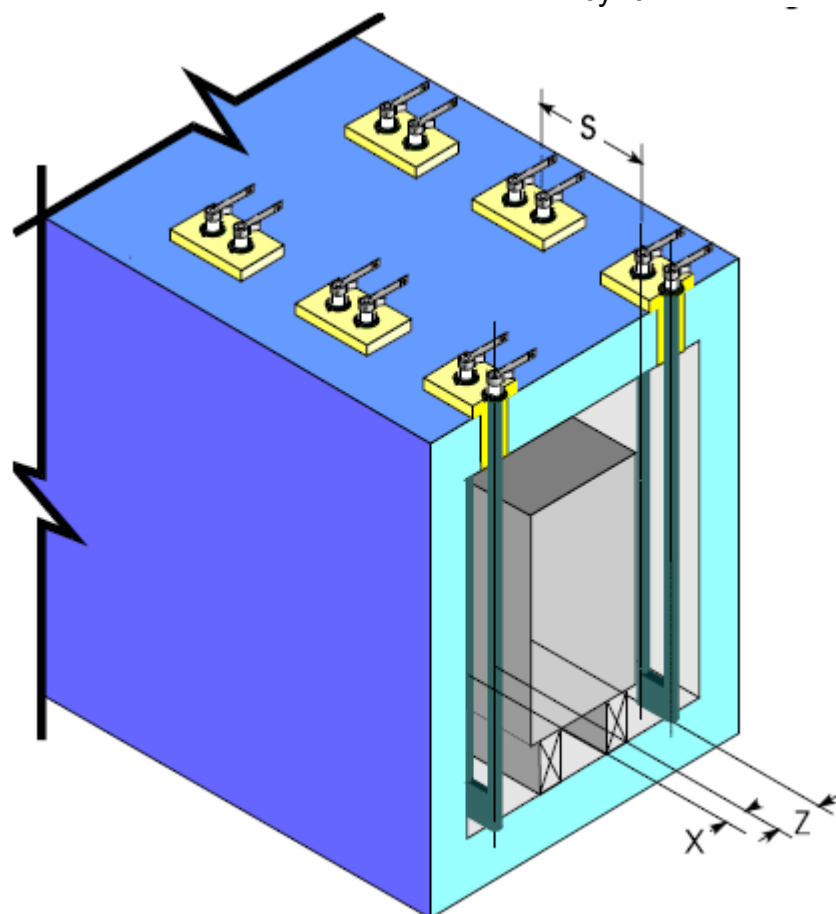
Установочное оборудование включено в поставку и состоит из шайбы (прокладки) из нержавеющей стали для каждого стержня и двух шплинтов (шпилек) из нержавеющей стали (трех для элементов для типа Y), как показано на рис 3 и перечислено в таблице В. Установочное оборудование и установочные отверстия не поставляются для горизонтально устанавливаемых элементов.

Диаметр стержня Starbar	Размер установочной шайбы из стали		Размер установочной шпильки из нержавеющей стали	
	Наружный диаметр (OD)	Внутренний диаметр (ID)	Диаметр	Длина
мм	мм	мм	мм	мм
13	21	14	3	51
16	27	17	3	51
19	30	20	3	51
25	44	27	3	51
32	55	33	4	76
38	64	40	4	76
44	73	48	4	76
54	85	56	4	76

Элементы Starbar следует устанавливать так, чтобы активная часть не достигала стенки печи или уплотнительной вставки.

Элементы Starbar не следует размещать ближе, чем на два диаметра элемента друг к другу или на полтора диаметра элемента к стене или к другому отражающему элементу. Если элемент Starbar не имеет возможности излучать тепло равномерно во всех направлениях, это может вызвать местный перегрев и возможное разрушение. Формула для расчета рекомендованного пространства под установку элемента Starbar для обеспечения равномерного прогрева садки показана на рис 4.

Рисунок 4



$X = 2 \times \text{диаметр стержня минимум}$, $1,5 \times \text{диаметр стержня абсолютный минимум}$ и требует уменьшения поверхностной мощности элемента

$Z = S / 1,41$ минимум при стационарной загрузке

$Z = S / 1,73$ минимум при нестационарной загрузке

$S = 2 \times \text{диаметр стержня минимум}$

X – расстояние от оси элемента Starbar до любой другой отражающей поверхности, такой как огнеупорная стена или садка.

Z – расстояние от оси стержня до стационарной или нестационарной садки.

S – расстояние от оси элемента Starbar до оси соседнего элемента Starbar.

Размеры камеры

Размеры камеры, в которой устанавливается Starbar могут быть такими же как длина активной части как показано на рисунке 4. Рекомендуемые диаметры отверстий для концов токовыводов в различных огнеупорных стенах или размеры уплотнительных вставок показан на рис 5.

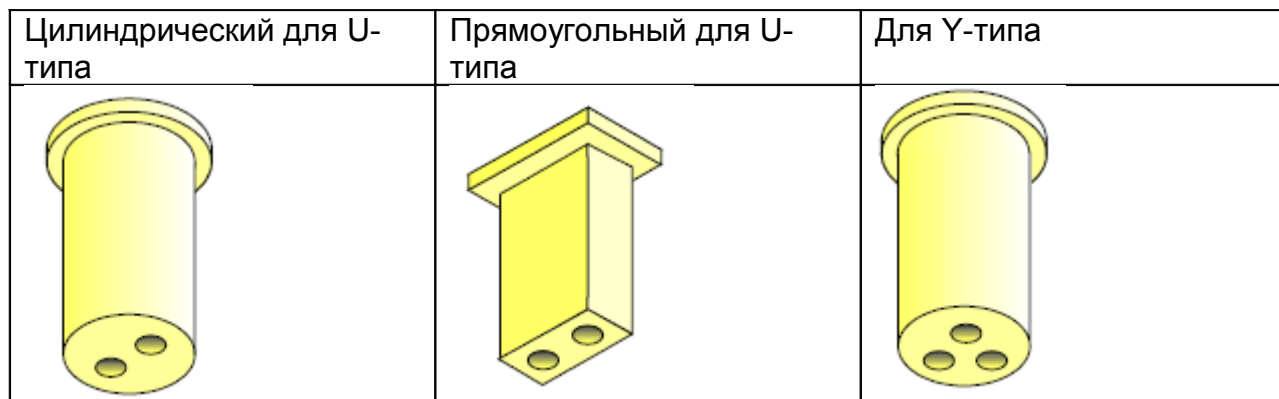
Стандарты и допуски

Элементы Starbar имеют допуски производителя плюс-минус 20% от номинального сопротивления. Все элементы калибруются, по крайней мере, дважды перед отправкой клиенту для уверенности в соответствии их спецификации. Измеренная сила тока каждого элемента маркируется на картоне и правом конце каждого элемента Starbar. При монтаже устанавливайте элементы по возможности со значениями силы тока близкими друг к другу. Более длительный срок службы может быть получен в случае, когда элементы Starbar подобраны друг к другу по сопротивлению.

Огнеупорные уплотнительные вставки

Огнеупорные уплотнительные вставки позволяют устанавливать элементы Starbar типа U, W и Y снаружи печи. Уплотнительная вставка работает также как вынимаемый огнеупорный кирпич. Компания I SQUARED R может производить огнеупорные уплотнительные вставки по технологии отливки. Если поставляется одновременно и элемент Starbar и уплотнительная вставка, то гарантируется правильная подгонка между ними. Если не оговорено другое, используется материал 1535°C 145 фунтов плотностью огнеупорный с применением технологии отливки. 25 мм поперечного сечения фланца используются для поддержки веса вставки и элемента. Уплотнительные вставки поставляются с прямоугольным и цилиндрическим поперечным сечением, см. Рис 5.

Отлитые огнеупорные уплотнительные вставки

Рисунок 5**Конструкция мостика (перемычки)**

Конструкция перемычки (мостика) элементы Starbar типа U, W и Y уникальна. В отличие от других существующих на рынке размеры перемычки (мостика) элементов Starbar не выступают за пределы диаметра активной части. Возможно изготовление перемычки (мостика) по ширине заказчика. Всегда самой распространенной проблемой была механическая поломка мостика или элемента над мостиком. Конструкция элементов Starbar решает эту проблему, отказавшись от сварки в этой области. Активная часть доходит до самых концов элемента. Высота перемычки составляет два диаметра стержня и перемычка не нагревается.

Поставка

Элементы Starbar могут быть поставлены со склада в течение 2-3 месяцев после получения заказа.

Изготовление на заказ

Возможно изготовление на заказ по форме и размерам заказчика. Например, тип RU, показанный на рисунке на стр. ..., обычно устанавливается с выводом токовыводов через стену печи. Особо следует обратить внимание на соблюдение расстояния между активной частью элемента и горячей фронтальной поверхностью.

Y защитная трубка		
Диаметр стержня Starbar	Диаметр расположения осей стержней	Минимальный рекомендуемый внутренний диаметр трубки
мм	мм	мм
13	29	80
16	37	100
19	44	120
25	59	160
32	73	200

Маркировка

OAL – Общая длина элемента

HZ – Hot Zone – длина активной части

CE – Cold Ends – длина токовыводов

DIA – Leg Diameter – диаметр стержней

C – On Center Leg Spacing, для тип Y всегда 2 x диаметр стержня

SH – Support hole location – положение установочного отверстия (измеряется от electrical end токовывода)

Пример U 60 x 30 x 25 x 2,5 SH=7,5 C= 7,5					
U,W	Общая длина элемента x	Длина активной части x	Длина токовывода в x	Диаметр стержней	SH= C=
Y	Общая длина элемента x	Длина активной части x	Длина токовывода в x	Диаметр стержней	SH= C=
RU		Длина активной части x	Длина токовывода в x	Диаметр стержней	SH= C=

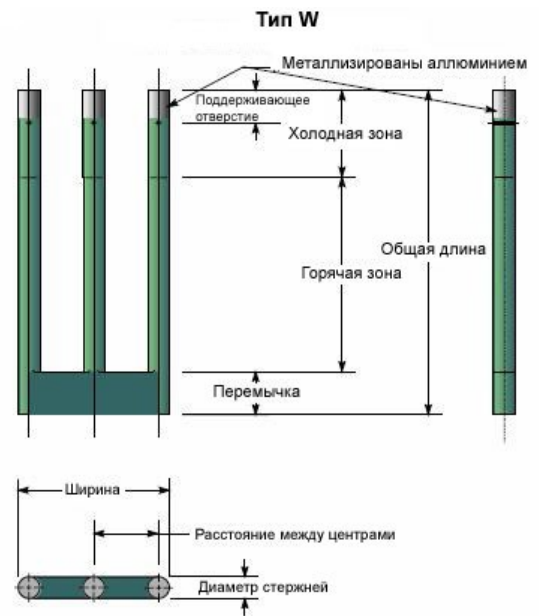
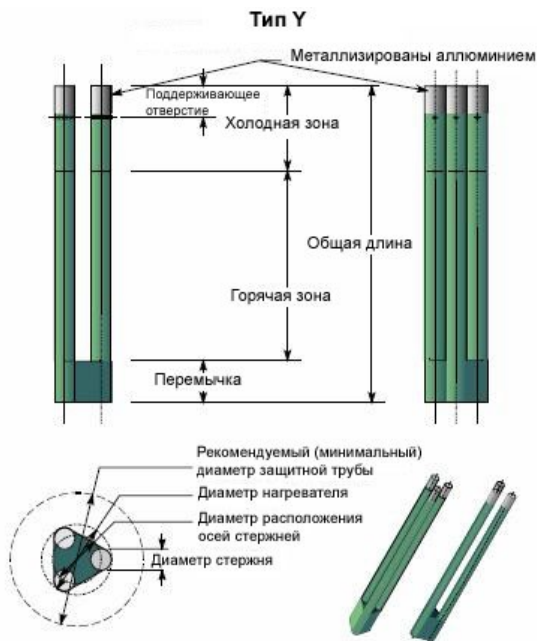


Таблица С					
Рекомендуемый минимальный размер отверстия в огнеупоре					
	Минимальный диаметр в зависимости от огнеупора				
Диаметр стержня Starbar	100	150	200	300	400
мм	мм	мм	мм	мм	мм
13	18	19	20	22	-
16	21	22	23	25	-
19	25	25	26	28	-
25	31	32	33	35	37
32	38	39	40	42	44
38	45	45	46	48	50
44	51	52	53	55	57
54	61	62	63	65	67